



**Espacenet**

## Bibliographic data: JP 9508239 (T)

### Two-stage mono-mode optical fibre laser

**Publication date:** 1997-08-19

**Inventor(s):**

**Applicant(s):**

**Classification:**  
 - international: *H01S3/06; H01S3/067; H01S3/063; H01S3/07; H01S3/094;* (IPC1-7): H01S3/06  
 - European: H01S3/067

**Application number:** JP19950519942T 19950127

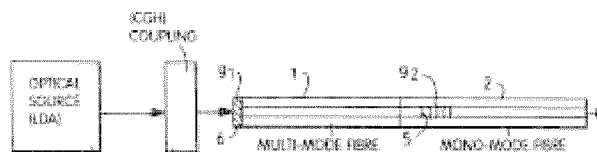
**Priority number (s):** EP19940300665 19940128; WO1995GB00163 19950127

**Also published as:**

- [JP 3839474 \(B2\)](#)
- [US 5422897 \(A\)](#)
- [EP 0741922 \(A1\)](#)
- [EP 0741922 \(B1\)](#)
- [DE 69506689 \(T2\)](#)
- [more](#)

**Abstract not available for JP 9508239 (T)**  
**Abstract of corresponding document: US 5422897 (A)**

A high power monomode laser arrangement is able to manipulate the output from a high power laser diode array pump source 3 using a computer-generated hologram 4 to launch a high proportion of the pump source light into a multimode fiber portion including in input reflector 6. A monomode fiber portion 2 with the same fundamental-mode spot size as the multimode fiber portion 1 is optically coupled to the multimode fiber portion and includes a reflector 5 which reflects only the fundamental mode of the multimode and monomode fiber portions. The fundamental mode reflection forced by the monomode fiber portion 2 provides the feedback necessary to force predominantly fundamental mode oscillation which enables stimulated emission in only the fundamental mode.



Last updated: 04.04.2011 Worldwide Database 5.7.20; 92p

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表平9-508239

(43)公表日 平成9年(1997)8月19日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/06

識別記号

庁内整理番号

7809-2K

F I

H 0 1 S 3/06

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 28 頁)

(21)出願番号 特願平7-519942  
(86)(22)出願日 平成7年(1995)1月27日  
(85)翻訳文提出日 平成8年(1996)7月26日  
(86)国際出願番号 P C T / G B 9 5 / 0 0 1 6 3  
(87)国際公開番号 W O 9 5 / 2 0 8 3 1  
(87)国際公開日 平成7年(1995)8月3日  
(31)優先権主張番号 9 4 3 0 0 6 6 5 . 0  
(32)優先日 1994年1月28日  
(33)優先権主張国 オーストリア (A T)  
(81)指定国 E P (A T, B E, C H, D E, D K, E S, F R, G B, G R, I E, I T, L U, M C, N L, P T, S E), A U, C A, J P, U S

(71)出願人 プリテイッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー  
イギリス国、イーシー1イー・7エージェイ、ロンドン、ニューゲート・ストリート 81

(72)発明者 ワイアット、リチャード  
イギリス国、アイビー11・9エージェイ、サフォーク、フェリックスストウ、ウォールトン、マーガレット・ストリート 42

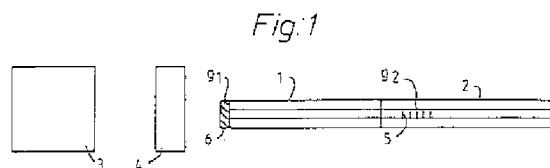
(72)発明者 アーミテージ、ジョナサン・リチャード  
イギリス国、アイビー4・2エックスイー、サフォーク、イプスウィッチ、ゲインズバロウ・ロード 61

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

(54)【発明の名称】 レーザ

(57)【要約】

この高パワー単一モードレーザ装置は高パワーレーザダイオードアレイのポンプ源(3)からの出力を、計算機で生成したホログラム(4)を用いて操作することができ、ポンプ源の光の大部分を入力反射器(6)を含む多モードファイバ部内へ放出するようにする。単一モードファイバ部(2)で多モードファイバ部(1)と同じ基本モードスポット寸法をもつものが多モードファイバ部に光学的に結合しており、反射器(5)を含み、多モード及び単一モードファイバ部により強制された基本モード反射は、基本モードだけで励起放出ができるようにする支配的な基本モード振動を生じさせるのに必要な帰還を生じさせるようにしている。



## 【特許請求の範囲】

1. 波長 $\lambda_1$ のポンプ信号を送出する光源と；

波長 $\lambda_1$ で光学的にポンプされたときに波長 $\lambda_2$ で放出するレーザ作用が可能であり、かつ波長 $\lambda_2$ で多モード性質を示す第1の導波路部分と；

波長 $\lambda_2$ で実質的に単一モード性質を示し、かつ第1の導波路部分と光学的に結合している第2の導波路部分と；

第1及び第2の帰還手段によって規定され、該第1及び第2の導波路部分を含む光学的空洞と；で構成されるレーザ。

2. 前記第1及び第2の導波路部分が光ファイバで成る請求項1記載のレーザ。

3. 第2の帰還手段は導波選択性をもつ光グレーティングであり、第2の光ファイバ内に形成されている請求項2記載のレーザ。

4. 第1の帰還手段は第1の光ファイバ内に形成された光グレーティングであり、該グレーティングは波長 $\lambda_1$ で高い伝搬性をもち、かつ波長 $\lambda_2$ で高い反射性をもつ請求項2又は3記載のレーザ。

5. さらに光源からのポンプ信号を第1の導波路部分へ接続するための接続手段でなる請求項1ないし4のいずれか1に記載のレーザ。

6. 前記接続手段は計算生成ホログラムである請求項5記載のレーザ。

7. 波長 $\lambda_2$ での第1の導波路部分の基本モードスポット寸法が波長 $\lambda_2$ での第2の導波路部分の基本モードスポット寸法と実質的に等しい請求項1ないし6のいずれか1に記載のレーザ。

8. 実質的に第1の導波路部分の基本モードだけが波長 $\lambda_2$ で第2の導波路部分に接続されるようにされている請求項1ないし7のいずれか1に記載のレーザ。

9. 第2の導波路部分がシリカで成る請求項1ないし8のいずれか1に記載のレーザ。

10. 前記第2の導波路部分はゲルマニアでドーパされている請求項9記載のレーザ。

11. 第1の導波路部分がシリカで成る請求項1ないし10のいずれか1に記

載のレーザ。

12. 前記第1の導波路部分はアルミナとゲルマニアとで共用ドーピングされてい

る請求項1記載のレーザ。

13. 光源が少なくとも1ワットの出力パワーをもつダイオードアレイである請求項1ないし12のいずれか1に記載のレーザ。

14. レーザ作用波長よりも実質的に長い少なくとも1つのポンプ波長でポンプされたときはレーザ動作を示すアップコンバージョンファイバレーザであって、

該ポンプ波長でポンプ信号を提供するための少なくとも1つの光源と；

該ポンプ波長で光学的にポンプされたときは該レーザ作用波長で放出するレーザ作用をすることができる第1のファイバ導波路部分と；

該レーザ作用波長で実質的に単一モード性質を示し、かつ該第1のファイバ導波路部分と光学的に結合している第2のファイバ導波路部分と；

帰還手段によって規定され、かつ該第1及び第2の導波路部分とを含んだ光学的空洞とで構成されるアップコンバージョンファイバレーザ。

15. 可視スペクトラムの青領域内にあるレーザ発振波長でレーザ出力を送出する請求項14記載のアップコンバージョンレーザ。

16. 第1のファイバ導波路部分がフッ化物のホストであり、かつツリウムでドーピングされている請求項15記載のアップコンバージョンレーザ。

17. 光ポンプが請求項1ないし13のいずれか1に記載のレーザで成る請求項14ないし16のいずれか1に記載のアップコンバージョンレーザ。

18. ポンプの第1の導波路部分がレーザドーパントとしてネオジウムを含む請求項17記載のアップコンバージョンレーザ。

19. 第1のファイバ導波路部分が少なくとも1種類のドーパントでドーピングされ、前記レーザは2つのポンプ源を含み、第1のポンプ源は第1のレベルから第2のレベルにドーパントイオン励起を供給し、第2のポンプ源は第2のレベルから第3のレベルに、直接的又は非直接的にドーパントイオン励起を供給することを特徴とする請求項14記載のアップコンバージョンレーザ。

20. 少なくとも1種類のドーバントでドーブされた第1の導波路部分で成り、単一のポンプ波長で光学的にポンプすることによってドーバント種の最初の1つのイオンを第1のレベルから第2のレベルへと励起し、かつ該ドーバント種の最初の1つのイオンのエネルギーが、実質的に第2のエネルギーレベルと等しい第

3のエネルギーレベルでドーバント種の第2の1つのイオンに伝送され、さらに該イオンは第3のエネルギーレベルでエネルギーを吸収することによって第4のエネルギーレベルに励起されることを特徴とする請求項14記載のアップコンバージョンレーザ。

21. 1つのドーバント種が $\text{Pr}^{3+}$ で成る請求項19記載のアップコンバージョンレーザ。

22. 第2のドーバント種が $\text{Yb}^{3+}$ で成る請求項19に従属し、かつ請求項21記載のアップコンバージョンレーザ。

23. 2つの光学的に結合された導波路部分で構成される光導波路であって、第1の導波路部分は1又は複数のドーバント種でドーブされ、かつ少なくとも1つのレーザ作用遷移によって複数のモードで該導波路内で支持される放出を行うようにされており；第2の導波路部分は単一のモードだけで該放出を支持するようにされている光導波路。

24. 1組の反射器で構成される光学的空洞であって、そこで請求項13記載の光導波路の間に位置する光学的空洞。

25. ポンプ源と請求項24記載の光学的空洞とで成るレーザであって、該ポンプ源は、前記ドーバント種のイオンを1又はそれ以上高いエネルギーレベルにまで励起するための1又は複数の波長成分を有するレーザ。

26. さらにポンプ源からの光を光学的空洞の2つの波長の1つに接続するための手段で成るレーザ。

27. 単一モードレーザ光を提供するための方法であって：

1又は複数の波長成分をもつポンプ光を光導波路内に結合させ、該導波路は少なくとも2つの導波路部分を有して、第1の導波路部分は少なくとも1つのレー

ザ作用遷移を提供する1又は複数のドーパント種でドーブされており；かつ該導波路は一对の一部反射用反射器を有して該導波路について光学的空洞を規定しており；該ポンプ光は多モードで該第1の導波路部分内に支持され、かつ単一モードで該第2の導波路部分に支持されるレーザ遷移からの光の放出を生じさせ；

該光学的空洞は該反射器により提供される帰還によってレーザ作用を用意し、該レーザ作用は第2の導波路部分により規定される単一モードだけであることを

特徴とする単一モードレーザ光を提供するための方法。

## 【発明の詳細な説明】

レーザ

この発明は光学的にポンプしたレーザ、とくに必ずしもそれに限定されるわけではないが、実質的に単一横モード出力を作り出すレーザに関する。

回折制限された、単一モード出力の、光学的にポンプされたレーザで、単純な単一のポンプ源装置を使用して、ほぼ100mWの単一モード出力を送出することができるものは、小信号又は低パワー応用に有用とされている。しかしこの種のレーザはワット順でより大きな単一モードパワーを送出するように簡単に適合できない。

ワット順でより大きなパワーの単一モード出力を送出することができる光学的にポンプされたレーザは、高いポンプパワーを用意するために、1つならず複数のポンプ源の複雑な組合わせを必要とするのが普通である。ポンプ源を組み合わせる方法には：異なる波長の単一横モードダイオードレーザをいくつか多重化する；2以上のこの種のダイオードをファイバ空洞内で多重化し、空洞の両端からファイバをポンプするようにする；ファイバレーザ空洞の長さに沿って複数のポンプ用ポートを使用する；ことが含まれる。

ワット順に光出力パワーを送出することができる高パワーレーザ用の単一の光ポンプ源として可能性のあるものはダイオードレーザアレイである。ダイオードレーザアレイは高い電気・光学変換効率をもって組立てることができ、非常に信頼性が高い。しかし、2つの欠点を受容しなければならない。すなわち、第1に、アレイ内のレーザは実質的に互いにコヒーレントでないことで、これは出力をフォーカスする能力が貧弱であることを意味する。第2にアレイの幾何学的形状が使用されることになる応用に対して整合しにくいことである。

高パワーの線形ダイオードレーザアレイ(LDA)からの出力を操作して、2次元の、対称な仮想光源を形成し、Nd:YAGレーザを端部からポンプするようにする光結合用装置については論文“Geometrical Transformation of Linear Diode-Laser Arrays for Longitudinal Pumping of Solid-State Lasers”, IEEE J. Quantum Electronics, Vol.28, No.4, April 1992 に記載されている。この装置では表面レリーフ2値光学系の2つの面が実現されて、線形アレイ出力

を

2次元スポット光源に変換し、ラジアンズ定理に従って得られる最大値にラジアンズが近い値をもち、かつ対称な形状と発散とを備えるようにしている。

ダイオードレーザアレイの出力を変換してフォーカスされたスポットとする別な方法は、計算機が生成したホログラム（CGH）を使用する。

レーザ空洞内部に向けてダイオードレーザアレイのような高パワーポンプ源からの光パワーの最大放出を可能とするためには、それが上述の結合方法を用いる場合であっても、大きなNA値（ニューメリカル・アパーチャ）をもつようにすることが空洞にとって好ましいことである。このように大きなNA値は、空洞がポンプ源波長で多モードとなるようにする。

LDAはこの発明で好ましいポンプ源であるが、他の光源も、必要とされる高パワーの光出力を供給できるものであれば使用することができる。

実質的に単一モード出力を送出するために多モードポンプ源を使用できる導波路装置の一形態は、“ポラロイド”型光ファイバでPolaroid社から入手できるものである。

この装置は楕円形の外部コアでドーピングされていないもので成り、そこへポンプ入力が放出され、さらに内部の円形のドーピングされたコアがある。しかし、この装置は非常に複雑な構造をもつから、組立てが非常に難しい。また、性能がファイバへ向けてのエネルギーの放出条件に大きく依存し、それがまた外側コアの形状により複雑なものとなっている。

この発明の第1の特徴によると、次の構成のレーザが提供される。すなわち、波長 $\lambda_1$ でポンプ信号を送出する光源と；波長 $\lambda_1$ で光学的にポンプされているときは波長 $\lambda_2$ で放出するレーザ作用を呈することができ、かつ波長 $\lambda_2$ では多モード性質を示す第1の導波路部分と；波長 $\lambda_2$ では実質的に単一モードを示し、第1の導波路部分とは光学的に一体に結合されている第2の導波路部分と；帰還手段によって定義され、かつ第1及び第2の導波路部分を含む光学的空洞とで成るレーザが提供される。

好都合なのは、ダイオードレーザアレイがポンプ源として使用でき、それが比



較的低コストで高ポンプパワーを送出できるものであることである。しかし、ダイオードレーザアレイが使われるときは、アレイからの出力を操作して、それを

第1の導波路部分に効率よく結合させるようにする必要がある。円筒状と球面状のレンズの組合わせと、計算機生成ホログラム(CGH)又は表面レリーフ2値光学系、あるいは上記のいずれかのものの組合わせと共働する装置によって、光源を効率的に使用することができる。

レーザ空洞に対しては、本質的ではないにしても、2つの導波路部分が実質的に同じ基本モードスポット寸法をレーザ発振波長でもっているのが好ましい。その理由は、これにより2部分間で基本モードの効率的なエネルギーの転移が容易に行われることによる。

実施例では、光ファイバが光空洞内の光導波路に対する媒体であるのは、平面状導波路のような使用できる他の媒体と比較して相対的に安価ですぐに手に入るという利点があることによる。

ファイバ導波路はレーザにとって好都合な媒体であるが、他の形式の導波路を利用することも無論可能であり、例えば平面状(プレーナ)導波路や半導体導波路でもよい。ドーピングしたファイバとか平面上導波路を用いる他の利点は、これらの媒体がエネルギー貯蔵機能を示し、したがって高エネルギーの、パルス波への応用に適しており、半導体導波路はうんと少ないエネルギー貯蔵機能を示し(貯蔵能力は $10^7$ のオーダーで小さい)、したがって、高エネルギーパルス波応用には向いていない。ファイバと平面状導波路のエネルギー貯蔵機能は、上側のエネルギー帯でのイオンの寿命がミリ秒のオーダーであり、10ミリ秒となり得るし、半導体導波路の上側のエネルギーレベル内のイオンの寿命はナノ秒のオーダーである。

好都合なのは、ファイバ導波路部分の使用が溶融スプライス(接続)により導波路を接続することに機能する。しかし、他の方法も使用でき、例えば機械的なスプライスを用いて当接(バタニング)をしたり、光コネクタを用いて接続することもできる。しかし、溶融スプライス法はそれにより得られる接合の精度の点で好ましく、不整合による接続点でのエネルギーの損失と好ましくない反射とを

減少させる。

光ファイバ導波路レーザ用として特に好ましいホストはシリカ（石英）であり、それに対する好ましいドーパントはイッテルビウムである。もっとも他のドーパ

ントとして、例えばエルビウムやネオジウムも共用できる。シリカが好ましいホストである理由は、それが安価であり、他よりも簡単に熔融スプライスされ、加えて他の適切なホストよりも一層簡単に入手できることによる。イッテルビウムが好ましいドーパントである理由は、簡単な希土類元素の1つであり、唯一の励起エネルギーレベルを有し、利得を制限するクエンチ機構に影響されないからである。この意味するところは、非常に高いドーパント濃度が、クエンチ効果が問題とならずに達成できることである。このようなことは、例えばエルビウムやネオジウムをドーパントとしたときには生じない。その理由は、これらの元素が一層複雑なエネルギーレベル構造をもつことによる。

シリカ以外のファイバホストを使用することができ、例えば、フッ化物のファイバであり、当業者には必要とされるレーザ遷移がホストとドーパントとの選定に依存することに気付くことである。

実施例では、1次的な共用ドーパントとして多モードファイバ内でアルミナを用いており、アルミナは屈折率を高める性質を備えている。アルミナはまた装置の利得帯域幅を広める好ましい効果をもち、多モードファイバ内でのイットリウムイオン（又は他の希土類元素で使用されているもの）のクラスタ化を妨げ、ホスト内での1次ドーパントイオンの可溶性を、他の性能と著しく劣化させずに、改善することにより好ましい効果をもたらす。

別な実施例では、ゲルマニアがシリカのホスト内の1次共用ドーパントとして含まれており、ホストの屈折率内に光グレーティングを書込むようにしている。ゲルマニアはシリカファイバ内で屈折率を高める共用ドーパントとしても作用する。

典型的な場合として、アルミナと一緒にドーパしたシリカの多モードファイバの屈折率プロファイルはアルミナの存在の故にベル（鐘）の形をしたものとなり

、光ファイバ組立てに関する当業者によく知られているように、軸上での凹みを避けることによりアルミナはベル形状を作ることになる。

反射器は空洞に対して帰還手段として作用して、レーザ動作に必要とされる帰還を用意する。反射器はどんな形式のものでもよく、例えばミラーとかグレーティング（回折格子）でよい。

実施例では、空洞の入力側と出力側とを規定する反射器はグレーティングである。

グレーティングを用いる利点は、その高い波長選択性にある。さらに、グレーティングは導波路又はファイバ内部に実際に形成することができ、それによって整列の問題と、個別部品の必要性とがなくなる。いずれのグレーティングも、例えばファイバコア内でも、導波路の屈折率の中にグレーティングの形成（書込み）をすることができる。

別な反射器装置として各グレーティングに代ってミラーを使うのがある。

この発明によるレーザは、既知のレーザに対する利点として効率的な単一モード出力が簡単なポンプ装置を利用して得られる点がある。

正常なレーザ発振条件の下で、レーザ発振波長はポンプ波長よりも長い。しかし、レーザの構成とポンプの条件に依存して、レーザ発振波長はポンプ波長よりも短くなることもできる。この可能性は、アップコンバージョンレーザ作用として知られている。

アップコンバージョンレーザは一般にそのポンプ源の波長よりも短い波長をもつ出力光ビームを送出する。アップコンバージョン機構のいくつかの形式が知られている。一番簡単なアップコンバージョンの形はイオン間相互作用もしくはESA（励起状態吸収）のいずれかによる。前者の場合は2つのイオンが第1のエネルギーレベルに励起され、一方のイオンがそのエネルギーを他方のイオンに移させるものであり、第1のイオンはそれより低い状態に戻って第2のイオンが高い状態へ昇る。後者の場合はイオンが光のフォトン1個を吸収して励起状態へ昇り、そこでさらにフォトンを吸収して、より高い励起状態へ昇る。

一番簡単な形式では、イオン間相互作用もESAアップコンバージョンも1の

ポンプビームのみに依り、3状態間の遷移は同じようなエネルギー吸収レベルを必要とする。しかし、アップコンバージョンのさらに複雑な形式でこの発明によるものも実現可能であり、それについて以下に述べる。

当業者は、光ファイバの遮断波長もしくは光ファイバが単一のモードだけを支持する波長を超えて行くと、ファイバが次第に非導波性を示し、したがって効率が低下することを知っているであろう。一般に、単一モードレーザ作用を用意するために、ドーピングしたファイバが設計され、レーザ作用が遮断波長もしくはそれをわずかに超えたところで発生している。しかし、アップコンバージョンレーザ

作用に対しては、もしレーザ作用がドーピングしたファイバの遮断波長をわずかに超えたところで生ずるときは、長い波長のポンプがファイバによって不効率ながら支持される。そこで一般に、アップコンバージョンレーザは、ポンプビームは単一モードで支持されているとして、効率的な光使用を確保するために、ドーピングしたファイバの遮断波長もしくはその近傍でポンプする必要がある。

この結果、もしアップコンバージョンレーザ作用が生じたとすると、少なくともいくつかのモードでドーピングしたファイバ内でレーザ発振が支持されていることになる。単一モードのポンプは一般に最適なポンプの方式である。しかし、導波路によって2～3のモードとして支持されているポンプ波長を使用してもっと多数のモードでレーザ作用をさせるポンプ機構は、価値のある別物（オプション）かもしれないが最適なものとはいえない。

この発明の第2の特徴は、アップコンバージョン・ファイバレーザとして、レーザ発振波長よりも実質的に長い少なくとも1つのポンプ波長でポンプされたときに該レーザ発振波長でレーザ作用を示すものにあり、そのレーザは以下の構成をとる：ポンプ波長でポンプ信号を送出するための少なくとも1つの光源；第1のファイバ導波路部分であって、ポンプ波長で光学的にポンプされるときはレーザ発振波長で光放出をするレーザ作用を可能とするもの；第2のファイバ導波路部分であって、レーザ発振波長において実質的に単一モード性質を示し、かつ該第1のファイバ導波路部分と該第2のファイバ導波路部分とは光学的に一緒に接合されているもの；及び光学的空洞であって、帰還手段によって規定されており

かつ、該第1及び第2の導波路部分を含むもの。

好ましくは、アップコンバージョンレーザ用のポンプは単一モード光源がよい。また、第1のファイバ導波路部分は、少なくとも1つのポンプ波長において単一モード性質を示すように最適化されているのがよい。

この発明によるレーザはアップコンバージョン過程を支持するのに必要な単一モードポンプ光源の強度を提供できる点に特長がある。したがって、この発明のアップコンバージョンレーザでは、この発明による別のレーザによって、別のドーパント種又はやり方でポンプすることができる。

この発明の実施例によると、レーザはアップコンバージョンレーザであり、可

視スペクトラムの青領域でレーザを発振する。これを可能とするために、第1のファイバ導波路部分はホストとしてフッ化物ファイバを用い、ツリウムでドーピングしてあり、ポンプはまたこの発明によるレーザであり、第1のファイバ導波路部分は1次ドーパントとしてネオジウムを用いて、レーザが実質的に1.1  $\mu\text{m}$ でレーザ発振するようにしている。

代って、実質的に1.1  $\mu\text{m}$ で高強度出力を作る別なポンプを用いることもできる。

別な実施例については次の記述と請求の範囲とによって明らかにされることになり、付属の図面によって例が記述されている。

図1はこの発明の装置の1つの構成を示す図面である；

図2は図1の別な構成である；

図3は可能とされる2段構成を図示したものであり、第1段としてこの発明の第1の形態が用いられて第2の段階に対するポンプ源を提供するように使用され、ポンプ源はこの発明の別な形をとっている。

図1及び2を見ると、レーザの構成は、第1の導波路部分(1)の一端が第2の導波路部分(2)の一端と光学的に接続されていて、手段(5, 6)が導波路と一緒に光学的空洞を規定しており、光源(3)は光ポンプパワーを提供し、結合手段(4)が光ポンプパワーを第1の導波路部分に接続させているものが示されている。

導波路部分は光ファイバで構成されている。第1のファイバ導波路部分(1)は、レーザ発振波長において多モードファイバであり、第2のファイバ導波路部分(2)に熔融スプライスされており、第2のファイバ導波路部分(2)は必要とされるレーザ発振波長で実質的に単一モードである。第1のファイバ導波路部分はレーザ発振波長で実質的に多モード性質を示し、第2のファイバ導波路部分はレーザ発振波長で実質的に単一モード性質を示すということは、記述を簡単にするというだけの目的で、今後はそれぞれ多モード及び単一モードファイバと呼ぶこととする。

レーザホストはシリカであり、その中にあるドーパントはイッテルビウムである。ゲルマニアはシリカホストの中に1次共用ドーパントとして含まれている。

ゲルマニアは多モードファイバ内で屈折率を高める共用ドーパントとして作用し、これが後述の理由で望ましいとされる。ゲルマニアはまたファイバホスト内に光グレーティングを書込むことに機能し、その詳細と利点も後述する。

アルミナが多モードファイバ内で2次共用ドーパントとして作用し、そこでアルミナもまた屈折率を高める性質をもつ。アルミナはまた、多モードファイバ内でイッテルビウムイオン(又は使用された他の希土類元素)のクラスタ形成を妨げて装置の利得帯域幅を広げるという好ましい効果をもたらし、しかも他の点で著しく性能を劣化させることをしない。

一般に多モードファイバの屈折率プロファイルはアルミナの存在によりベルの形をし、光ファイバ組立て技術にいての当業者はアルミナが軸上の窪みを回避することによりベル形状をもたらすことを知るところである。

多モードファイバはできる限り $\Delta n$ の値を高くするように構成さる、ポンプ源からの光が多モードファイバへ適切に結合できるものとする。上述のように、アルミナとゲルマニアとはともに屈折率を上昇させる性質を有し、かつ一般には、といっても必須のことではないが、ともにその理由のために共用ドーパントとして含まれている。一般には $\Delta n$ の値は0.04であり、シリカ又はフッ化物ガラスに対して得られる最大値は現状では約0.06とされる。単一モードファイバは $\Delta n$ の値を低くとるように選ばれて、このファイバがレーザ発振波長で単一モ

ードであることが確実となるようにし、 $\Delta n$ の値は一般にはほぼ0.004である。単一モードファイバに対する $\Delta n$ の下限はこのファイバで許容される曲げ損失がどの程度であるかによって決まる。その理由は $\Delta n$ が小さくなると曲げ損失が大きくなるからである。実用上は、単一モードファイバに対する $\Delta n$ の最小値は約0.001であるべきで、これ以下となると、曲げ損失が大きくなりすぎる。上述のような $\Delta n$ への制限の故に、多モード及び単一モードファイバ間の $\Delta n$ 比は一般に約1.0となる。

2つのファイバのコア寸法は多モードファイバの基本モードスポット寸法が実質的に単一モードファイバのそれと整合し、ファイバの基本モードの効率的な結合がファイバの接続端間で達成されるように選ばれる。基本モードスポット寸法間の不整合はレーザの効率を低減させるが、発明者によると、スポット寸法の6

5%不整合はレーザの効率を10%だけ低減させるにすぎないことが発見された。しかしながら、ファイバを選んで、基本モード信号の大部分が境界を通過して進行し、大きな性能の低下を回避することが望ましい。

多モードファイバの屈折率プロファイルがベル形であるから、ファイバをスプライス接続する中心は必要とされるモードの効率的な結合を確かなものとする。しかしまた、同じように、スポット寸法の整合は本質的ではなく、ファイバの離心接続は基本モード信号の大部分が境界を通過して進行する限りは許容される。不整合は重複積分解析（当業者に既知）を用いて簡単に計算することができる。

光源（3）はレーザダイオードアレイ（LDA）であり、特定された波長で光パワーの数ワットを放出できる。ダイオードアレイのアレイ素子は一般には直線上に配列され、したがってその光出力は操作され（円形状とされ）て、多モードファイバ内にパワーを最適結合するようにされる。捜査過程は計算機で生成したホログラム（CGH）により行われ、それが置かれる位置は光源と多モードファイバの入力端との中間である。

実際には、LDAから多モードファイバ導波路部分への結合効率は約50%である：特別注文で作ったアレイであり、Spectra-Diode 社から入手した形式のものについての値。

結合効率が50%と仮定して、LDAに対するパワー要求は簡単に見積もることができる。例えば現在のレーザ（ファイバレーザ増幅器で使用するのに適した高パワーポンプ源として使用できるもの）から0.5Wのレーザ出力を送出するためには、多モード導波路部分には1ないし1.5Wのパワーが必要と予測される。LDAから50%結合効率ということは、LDAが少なくとも3Wの光パワーを送出する必要があることを意味する。

反射器はレーザ動作に必要とされる帰還を提供する。反射器はどんな形式のものでもよく、例えばミラーとかグレーティングである。望ましいのは、図1に示すように、反射器がグレーティングであって、 $g_1$ はグレーティングで空洞の入力側を規定しており、また $g_2$ グレーティングであって、空洞の出力側を規定している。空洞は実際にはグレーティングによって規定され、ファイバと関係しており、 $g_1$ が空洞の多モードファイバ側の限界を規定し、 $g_2$ が単一モード側の空洞の限界を規定している。

グレーティング $g_1$ は光フィルタとして動作するもので、後述のように紫外線（UV）を用いて多モードファイバ内に書込まれており、レーザ発振波長で高い反射率を有し、ポンプ信号波長で高い透過率を有している。グレーティング $g_1$ はレーザ空洞の入力端を規定している。

グレーティング $g_2$ は波長選択性があり、部分反射形のグレーティングで後述の紫外線（UV）を用いて単一モードファイバに書込まれている。このグレーティングはレーザ空洞の出力端を規定する。当業者であれば必要とされるグレーティングの規格を用意するための設計上の配慮に気付くことであろう。

紫外線を用いる反射グレーティングの書込みに適した方法はKashyapらの論文、Electronics Letters, 24th May 1990, Vol.26, No.11, pp.730-731に記載されており、ここではこの参考文献を用いる。簡単に言えば、2つのビームからの紫外線を用いて周期的な干渉パターンをグレーティングを必要とするファイバ内に形成することである。干渉パターンは対応する周期的流儀にしたがってファイバの屈折率を変え、この屈折率の変動が光学的グレーティング（回析格子）を形成する。一般には、グレーティング形成に寄与するために、ファイバホストはシリカとし



、それをゲルマニアでドーピングする。グレーティングの特別な性質はファイバ内のグレーティングの周期と長さにより、波長選択性はそれらを変えて制御される。

グレーティング  $g_2$  は狭帯域で、レーザ発振波長で単一モードファイバの動作の基本モードの部分反射を作り、それが動作の基本モードにおいてレーザ発振を促進するために必要な帰還を用意している。

一般に、多モード光ファイバは数多くの伝搬モード、すなわち導波モードを有しており、このモードで光エネルギーがファイバ内を伝わる。導波モードで伝搬するとともに、あるモードの光信号はファイバ中を移動する間に他のモードに結合するから、ある時刻にある1つのモードで存在している光エネルギーの量を制御することは難しい。

もしファイバが名目上の直線状態であるときは、高次のモードに大きくパワーを結合させずに、多モードファイバの基本モードが最大1 mの距離多モードファイバ中を伝搬することができることを発明者は発見した。

この発明のシステムに対するパラメータ値は、システム設計に存在する多くの交換的條件（トレード・オフ）に依存している。例えば、レーザ空洞に特定の光利得が必要な場合には、利得の水準は例えばドーパントの種類、ドーパントのレベル、活性領域の長さ、及び反射器の反射率に依存し、単一モードファイバ導波路部分ではとりわけそれらに依存することになる。制限の範囲内で、ドーパントのレベルを増大することは、一般には活性領域の長さを減らすことができることである。しかし、ドーパントが希土類金属イオンの場合には、大きなドーパント密度は一般にクエンチ機構が原因して性能の損失の通じている。しかし、イッテルビウムは簡単な希土類の1つであって、1個の励起エネルギーレベルしかもたないから、こういったクエンチ機構に影響されない。それ故に、非常に大きなドーパント密度が問題となる影響を及ぼすことなく適用できる。こうしてドーパントとしてイッテルビウムを用いると、ドーパントレベルを10重量パーセント以上にまで上げることができる。例えばエルビウムやネオジウムドーパントでは、クエンチ効果がこんなに大きなドーパント濃度では問題となる。ドーパント濃度の下限は導波路におけるドーピングされた領域の長さに依存し、0.25%よりも小

さなドーパントレベルは一般には実行されていない。ある種の希土類ドーパント濃度で10重量パーセントという高いものもあり得るが、イッテルビウムのドーピングレベルは一般にほぼ3.0重量パーセントである。

使用するドーパントの形式とドーピングのレベルとは必要とされるポンプとレーザー発振波長とレーザーのパワーとに依存することは当業者の知るところである。一般に、ドーパントの分布は屈折率プロファイルに従うが、これはレーザーの動作にとって本質的なことではない。

発明者は波長1.02  $\mu\text{m}$ での効率的な単一モードレーザー発振が、ポンプ及びレーザー発振波長で多モード性質を示す多モードファイバに対して、ドーピングを施すことによって可能となることを発見した。ドーピングの一般例は、シリカホスト内にアルミナを最大4重量パーセント、及びイッテルビウムを最大3重量パーセントドーピングすることであり、また多モードファイバを実質的に980 nmでポンプすることによりこの発振が可能であった。ゲルマニアもまた屈折率を高める共用ドーパントとして含めてもよいが、イッテルビウムの濃度をこのように高

めると屈折率は十分に高いレベルにまで昇り、イッテルビウムがレーザーの主体であるときはゲルマニアはおよそ不用である。

単一モードファイバは通常の単一モード、恐らくは電気通信用標準のシリカファイバでゲルマニアを最大10%以上のレベルまでドーピングして、ファイバの屈折率に対して光グレーティングを書込みできるようにしたものを用いることができる。

システムの利得に関係した別な変数は多モードファイバの許容長である。すでに述べたように、発明者は多モードファイバの基本モードは1 mまでの長さにわたって高次モードと著しく結合することなく伝搬することができることを発見した。しかしこの距離はファイバの性質に大きく依存し重大な不完全性がモード間結合を生じさせる。そこで基本モードが高次モードと結合することなく伝搬できる距離は、たくさんの不完全性を備えた実用的なファイバよりも、非現実的な完全なファイバの方がはるかに長いことになる。

イッテルビウムのレベルが0.5ないし5.0重量パーセントの間では、多モ

ードファイバの長さは一般に1 mもの長さを必要としないので、ファイバ長はこの発明のシステムの性能劣化について重大な束縛条件とはならない。

単一モードファイバ導波路部分にある反射器の反射率もまた他のパラメータに対するトレードオフとなり得る。スプライス境界におけるファイバ間の不整合に起因する損失が少ないときは、グレーテング  $g_2$  の反射率は高くなり得る。その理由は境界で光が反射して戻ると、わずかな損失が生ずるにすぎないことによる。逆に、不整合損失が大きいと、反射率は小さく境界で反射される光の量が小さくなる。不整合は既知の重畳積分を用いて簡単に計算できる。

このレーザの動作は図1を参照して簡単に述べることができる。多モードファイバ導波路の基本モードはしきい値に達する第1番目のものとなろうが、ポンプがしきい値を十分超えていれば高次モードもまた発振を開始できる。そこで、現在のシステムでは基本モードでの発振を強制し、かつ高次モードでのレーザ作用を能動的に妨げるために次の方法をとる：基本モードだけの発振が単一モードファイバ導波路と単一モードファイバ導波路内に書込まれ、グレーテング  $g_2$  によって強制されるようにする。このグレーテングは基本モード信号を部分的に反射して多モードファイバ導波路内に戻す。多モードファイバ導波路は短く、反射

した基本モード信号は高次モードに結合することがない。グレーテング  $g_2$  で単一モードファイバ導波路内にあるものは、実質的に基本モードだけの部分反射を確実なものとし、それによって多モードファイバでの高次モードに対する弁別作用が強化される。

この弁別は他のモードが発振するのを困難とする。システム内に帰還を与えているのが部分反射である。したがって、高い支配力をもつ基本モード発振により、放出が基本モードについてだけ刺激されるようにしている。この基本モードによる密度分布へのアクセス可能性（密度分布利用可能性）によって、このレーザシステムはほぼ100%の量子効率に接近する可能性を備え、その限界は導波路の不完全性と導波路間の不整合と、その限界は導波路の不完全性と導波路間の不整合と、ドープしたファイバの損失機構とにだけ基づいている。

別な反射器の構造として、グレーテングに代ってミラー  $R_1$ ,  $R_2$  を一緒に使う

ものが図2に示されている。図1でグレーテングが空洞を定義していたのと同様に、ミラー $R_1$ 、 $R_2$ が結合されたファイバの自由端に置かれて空洞を規定し、ミラーは必要とされる反射率と透過率とを有してレーザ作用の条件を用意することはよく知られている。事実、どんな形のミラーでもよく、例えばファイバループミラー、又はミラーとグレーテングとの組み合わせも同様の効果を生じさせるために使うことができる。

ミラーは光学的空洞を定義するために用いることができるが、グレーテングは利点があり、その利点は高度の波長選択性をグレーテング内に設計で組み込める点で、当業者は正しい波長選択性をグレーテングに設計することができる。

こうして必要とされる反射率が反射器装置のいずれかの形体の中に存在する限りは、それが導波路内に書込まれた内部反射器であろうと、外部反射器であろうと、あるいは内部と外部の反射器の組み合わせであろうと、システムは上述のように動作することができる。

商用目的では、LDAとその操作装置とを組み合わせることが可能で、そこではCGHもしくはレンズ又はその両者の組み合わせを1つのパッケージの中にもめるようにしてもよい。このパッケージはファイバテール（尾）を備えることができ、これはパッケージの一体部品で、接続するのに必要とされるもので、恐らくは溶

融スプライスによってレーザ空洞の多モードファイバ導波路に接続される。パッケージのこのファイバテールは使用されることになるファイバと整合するよう選ばれ、例えばモードスポット寸法などが整合し、レーザの多モードファイバと同一のものであるが、レーザドーバントのないものが使われる。溶融スプライス法を用いるということは、入力グレーテングのような帰還手段が空洞の入力端に用意される必要があることを意味し、例えばそれが多モードファイバ導波路部分に書込まれて空洞の入力端を規定する反射器として動作するようにすることである。

この発明のレーザの1つの応用は、高パワーで単一モードのポンプ源としてファイバレーザ増幅器のために使用するものがある。この応用はレーザの入力ファ

イバがポンプ及びレーザ作用波長の両方で多モードであることを要件とし、かつポンプ波長が実質的にレーザ作用波長より短いことを要件とする。

この発明によるレーザ用の特定のアップコンバージョン応用はアップコンバージョンポンプのツリウムドープしたフッ素ファイバレーザであり、可視スペクトルの青部分でレーザ作用をすることができる。

この発明による青のアップコンバージョンファイバレーザでは第1及び第2のファイバ部分をそれぞれ入力ポンプ波長と出力信号波長とに対して最適化することができる。最適化は第1のファイバ部分がポンプ波長で2～3のモードではなく単一のモードとなることを求め、また、第2のファイバ部分がレーザ作用波長で単一モードとなることを要件とする。最適入力ポンプ信号波長はこのレーザに対してほぼ $1.12\mu\text{m}$ である。他のポンプ源でも $1.12\mu\text{m}$ 信号を送出するものは使用できる。青のアップコンバージョンレーザはツリウムをドープしたフッ素ファイバ入力導波路部分とゲルマニアをドープしたシリカ出力ファイバ導波路部分でそこに部分反射グレーティングが書込めるものとを一緒に使用している。非常に短い波長でのアップコンバージョンレーザ作用を促進させるのに必要とされる入力ポンプの強度を用意するために、入力ファイバ導波路部分を高強度の、望ましくは単一モードの光源でポンプするのが望ましい。これをするために、入力ファイバ導波路部分は入力ポンプ波長で単一モードであり、レーザ作用波長で多モードとなることは必要とされる。したがって、ファイバを用意して、入力

は  
ツリウムをドープしたフッ素ファイバとし、約 $1.12\mu\text{m}$ でポンプしたときは単一モードであり、アップコンバージョンによる約 $480\text{nm}$ では基本的なレーザ作用モードを有して、それが出力のゲルマニアをドープしたシリカファイバの基本モードと整合するようにする。

便宜上、この発明の一形態では、入力ファイバ導波路部分はネオジウムをドープしたシリカファイバであり、ゲルマニアもしくはアルミナ又はその両方を一緒にドープし、出力ファイバ導波路部分はゲルマニアをドープしたシリカファイバとして、約 $800\text{nm}$ でポンプしたときには約 $1.1\mu\text{m}$ 領域で高い同調可能

性を有する出力を作り、それをアップコンバージョンレーザ用のポンプ源として使用できるものとする。

図3はアップコンバージョンレーザ用として可能な構成を示し、そこでは第1及び第2のグレーテング $g_1$ ,  $g_2$ で第1及び第2のファイバ導波路部分1a, 2aを備えたものがあって、第1の光学的空洞を規定している。光学的空洞はダイオードLDA3によりポンプされ、ホログラムCGH4によってフォーカスされた出力が第1のファイバ導波路部分の端に入るようにしている。第1の光学的空洞はレーザ出力を送出して直接に第3及び第4の導波路部分1b, 2bに送入する。第2の光学的空洞はグレーテング $g_3$ ,  $g_2$ によって規定され、そこには第3及び第4のファイバ導波路部分が含まれている。グレーテング $g_3$ をシリカをホストとするファイバ導波路部分2a内に置き、フッ化物をホストとするファイバ導波路部分1b内に置かない理由は、光学的に書込まれたグレーテングがフッ素ファイバよりもゲルマニアでドーピングしたシリカ内に形成しやすいことによる。

この発明によるアップコンバージョンレーザの別なものでは第1及び第2の導波路部分があって、そこでは第1の導波路部分がフッ素系ファイバをプラセオジウムイオン $\text{Pr}^{3+}$ とイッテルビウムイオン $\text{Yb}^{3+}$ でドーピングしたものである。このアップコンバージョン過程の機構については次の文献に詳記されており、その内容はここで参照するものとする。“Red up-conversion Yb-sensitised Pr fluoride fibre laser pumped in  $0.8\mu\text{m}$  region”, Electronics Letters, Vol. 27, No. 13, pp.1156-1157. この場合、 $\text{Yb}^{3+}$ イオンとの間の極めた接近の高確率を確かなものとしている。この一緒のドーピングを採用することにより、エネルギー

ギー遷移機構が働き、それによってポンプビームがほぼ $810\sim 860\text{nm}$ で第1の導波路部分内に放出され、 $\text{Yb}^{3+}$ イオンは $810\sim 860\text{nm}$ 光を基底状態では吸収しない。この $\text{Yb}^{3+}$ イオンの $^4\text{F}_{5/2}$ エネルギーレベルは $^1\text{G}_4\text{Pr}^{3+}$ エネルギーレベルに十分に近いから、 $\text{Pr}^{3+}$ イオンの $^1\text{G}_4$ レベルへの遷移が生ずる。このエネルギー遷移はこの場合のように直接でもよいし、例えば1又は複数の中間の非放射遷移を含んだ経路をとる間接ルートによるものであってもよい。ここ

から約810～860nmでの別のポンプ光子の吸収が行われて、イオンが $^3P_1$ エネルギーレベルに進む。非放射ディケイで $^3P_0$ レベルに移り、寿命が $^3F_2$ レベル以上での密度逆転を支持できるものとなると、レーザ発振が約635nmで発生できる。

一般に、一緒にドーピングした（共用ドーピングの）アップコンバージョンファイバを採用するときは、共用ドーピングファイバは約0.01の $\Delta n$ をもち、コア直径は約5.7 $\mu m$ で、長さは約75cmとなる。このシステムに適したポンプはチタン（Ti）：サファイヤレーザであり、849nmで約250mWのパワーを送出する。無論、ほぼこの波長でしかも同様かそれ以上のパワーをもつ半導体ダイオードの適切なアレイを代りに使用できる。そこで、ホログラムCGHを使うことができることは上述のとおりで、アレイの出力を円形とし、ポンプ光を入力ファイバ導波路内に効率よく放出することができる。

上述のトリウムをドーピングしたアップコンバージョンシステムに対してと同様に、 $Yb^{3+}/Pr^{3+}$ システムに対しては第1の導波路部分は約849nmのポンプ波長で単一モードとなるように最適化されるが、すでに述べたように、導波路が複数のポンプモードを支持している最適化されていない動作も可能である。第2の導波路部分は、ここでも一般にシリカを基調としたもので、約635nmのレーザ作用波長で単一モードに最適化される。適切に光学的に書込まれた部分反射形グレーティング装置が第2の導波路部分のためにあり、約635nmで約60%の一部反射率を備えている。前述のように記述してきたすべての数値は特定の要件に対してトレードオフ（交換条件）となる。このアップ変換システムの場合は、ポンプとレーザ作用波長とが比較的近接している場合に特有なことである。したがって、両方の波長を第1の導波路部分遮断波長を超えたところに来るように設

定することができ、こうして第2の導波路部分に対する要件なしに単一モードレーザ作用を提供できる。しかしながら、最大ポンプ波長は光効率のためにシステムを完全に最適化するためには、ポンプ波長は第1の導波路部分の遮断波長となるように設定し、次にレーザ作用が複数モードで支持されるようにして、第2の

導波路部分が第1モード動作をするように強制することが求められることになる。一般には、アップコンバージョンポンピング及びレーザ作用波長とは互いに近接しておらず、またこの発明のシステムが好ましいものとなる。

この発明による別なアップコンバージョンレーザは、レーザ作用のためのドーパントとして $\text{Pr}^{3+}$ を採用し、二重のポンプ寄港を実現してアップコンバージョンレーザを提供する。このアップコンバージョン過程の詳細は次の文献に記載されており、ここで参照に供するものとする。“CW room temperature up-conversion lasing at blue, green and red wavelengths in infrared-pumped  $\text{Pr}^{3+}$ -doped fluoride fibre”, Electronics Letters, Vol. 27, No. 14, pp.1307-1309.

このシステムでは2つの波長のポンプが用意されて、イオンを2段階過程で上のエネルギーレベルに励起する。この過程は上述のESA過程と似ているが、第1のポンプビームが $1.01\mu\text{m}$ で $\text{Pr}^{3+}$ イオンを $^1\text{G}_4$ エネルギーレベルにまで励起し、第2のポンプビームが $835\text{nm}$ で $^1\text{G}_4$ エネルギーレベルにあるイオンを $^3\text{P}_1$ レベルにまで励起する。 $^3\text{P}_1$ レベルから、放射性ディケイを生じて $520\text{nm}$ で光を放出する $^3\text{H}_5$ レベルに進むか、非放射性ディケイによって $^3\text{P}_1$ レベルから $^3\text{P}_0$ レベルに進み、続いて $^3\text{H}_4$ ,  $^3\text{H}_5$ 又は $^3\text{F}_2$ の1つに進んで、それぞれ $491\text{nm}$ ,  $605\text{nm}$ , 又は $635\text{nm}$ で光を放出する。

このシステムでは第1のファイバ導波路部分に適したホストはZBLANPコアに $\text{Pr}^{3+}$ をドーピングし、そのレベルを約 $650\text{ppm}$ （重量濃度で）とし、ZBLANガラスのクラッド層をもつものである。第1のTi:サファイヤレーザで $1.01\mu\text{m}$ に同調したものが $^3\text{H}_4$ 基底状態から $^1\text{G}_4$ マルチプレットへイオンを励起するために使用される。第2のTi:サファイヤレーザで $835\text{nm}$ に同調したものが $^1\text{G}_4$ マルチプレットから熱的に結合された $^3\text{P}_1$ ,  $^1\text{I}_6$ , 及び $^3\text{P}_0$ レベルへの励起に用いられる。実際の光放出波長はレーザ空洞の出力に

ある波長選択性の反射器（例えば図1で例示したもの）に依存し、かつまた第1のファイバ導波路部分に加えられるポンプパワーにも依存する。

再び、波長選択性反射器として動作するために第2の導波路部分に光学的にグ



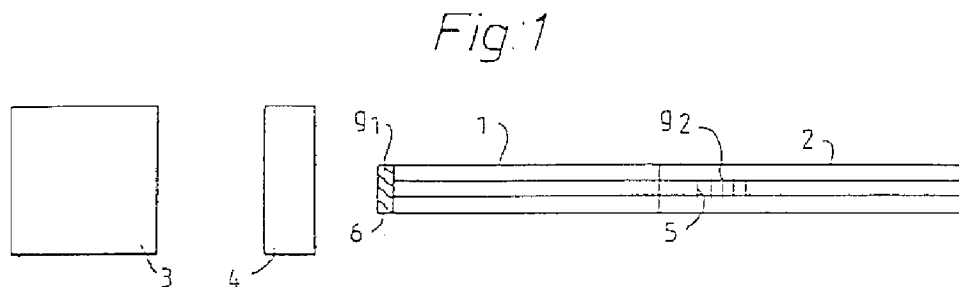
レーテングを書込めるようにするために、ファイバはゲルマニアをドーピングしたシリカとする。

レーザで青又は緑の可視スペクトル部分の光を放出するものは非常に広い応用があり、とくに狭いビーム幅をもつと利点をもつ分野があり、高度に集積された計算機のメモリの読み書きに使用できる。

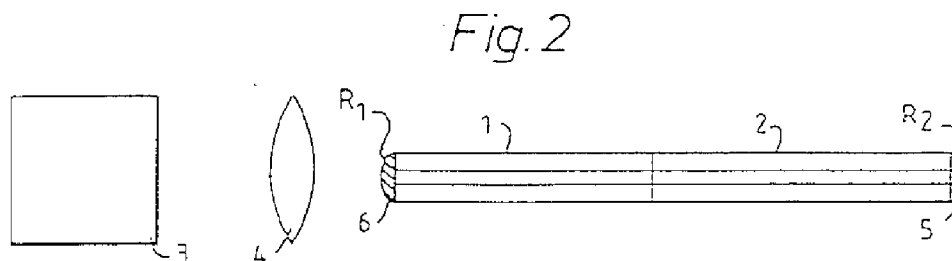
青レーザの他の応用にはヒトや動物の細胞の医療診断のための走査装置や、高輝度の目視用表示装置が挙げられる。

ここではレーザ構成について特定の例についてだけ記述してきたが、この発明は非常に広い応用分野を単一モードレーザの分野でもち、それがアップコンバージョンレーザであるか、非アップコンバージョンレーザであるかを問わないことは当業者が理解するところであろう。

【図1】

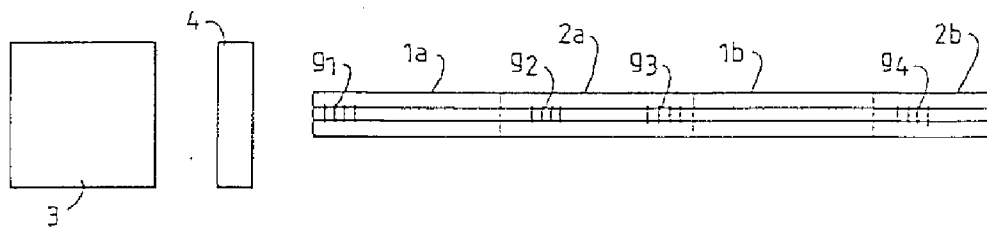


【図2】



【図3】

Fig. 3



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No. PCT/GB 95/00163		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01S3/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC:		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	OPTICS LETTERS., vol.18, no.23, 1 December 1993, NEW YORK US pages 2023 - 2025, XP000413233 S.V.CHERNIKOV ET AL. 'Coupled-cavity erbium fiber lasers incorporating fiber grating reflectors' see the whole document ---	1-6
A	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol.5, no.6, 5 June 1993, NEW YORK US pages 649 - 651, XP000384072 G.A.BALL ET AL. 'Modeling of short, single-frequency, fiber lasers in high-gain fiber' see the whole document ---	1-5
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents:		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search  9 May 1995		Date of mailing of the international search report  17. 05. 95
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HH Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016		Authorized officer  Galanti, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/GB 95/00163

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP,A,0 569 174 (AT&T CO.) 10 November 1993 see figures 4,7 ---	1-5
A	LASER FOCUS WORLD, vol.19, no.11, November 1993, TULSA US pages 95 - 102, XP000414138 D.PIEHLER 'Upconversion process creates compact blue/green lasers' see the whole document ---	14-18
A	ELECTRONICS LETTERS., vol.29, no.17, 19 August 1993, ENAGE GB pages 1500 - 1501, XP000393770 H.PO ET AL. 'High power Neodymium-doped single transverse mode fibre laser' see the whole document ---	1
A	US,A,3 808 549 (R.D.MAURER ET AL.) 30 April 1974 see figure 1 -----	1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No.  
**PCT/GB 95/00163**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0569174	10-11-93	US-A- 5237576 JP-A- 6021536	17-08-93 28-01-94
US-A-3808549	30-04-74	NONE	